5Ж

УДК 004.89

***С.В. Журба*[1]*, А.А. Тимченко*[2]*, В.В. Скоробрещук*[2]*, А.М. Гаврилей*[2]**
[1]Черкасский кардиологический центр, г. Черкассы, Украина
[2]Черкасский государственный технологический университет МОН Украины

Системный подход к диагностированию заболеваний

В статье рассмотрен процесс научного исследования с точки зрения системного подхода как основного инструмента системного анализа сложных объектов и систем в отрасли медицины. Рассмотрены задачи и методы диагностирования в задачах управления. Проведена методика системных исследований и верификация результатов. В результате математического эксперимента построены прогнозные модели составных липидов крови.

Введение. Основы системного подхода

Развитие медицины существенно зависит от степени и качества использованных интеллектуальных средств. Например, *ориентированные на практику математические модели, а также математические методы и средства имитации; также компьютерные базы данных и знаний, совместно с современными телекоммуникационными глобальными корпоративными и локальными сетями; использование целевых, организованных современных информационных средств.*

Процесс научного исследования рассматривается с точки зрения системного подхода как основного инструмента системного анализа сложных объектов и систем.

Стремительное развитие информационных технологий, их использование, в задачах наблюдения и прогнозирования требуют разработки и усовершенствования существующих методов и создания новых методов исследований и диагностики.

Диагностика – это специально организованное, систематическое наблюдение за состоянием объекта, события, процесса, с целью их идентификации, контроля или прогноза. В процессе проведения диагностики могут возникать такие распространенные задачи:

– *идентификации параметров моделей;*
– *кластеризации данных и результатов;*
– *прогнозирование процессов развития.*

Объект исследования можно представить с помощью логической последовательности:

<Вход>↔<Превращение>↔<Выход>

Исследование решаемости задачи системного проектирования Ω – сложная слабо структурированная проблема. Ее нельзя непосредственно декомпозировать на определенную совокупность локальных проблем, каждая из которых могла бы быть представлена и развязана в узких традиционных постановках инженерного проектирования. Полученные в процессе исследования решаемости задачи Ω результаты и обнаруженные при этом проблемы относительно исходной информации могут быть использованы на ранних этапах проектирования.

Условия решаемости:

1) *за входом;*

2) *за процессом;*
3) *по ресурсу.*

Сложная целеориентированная система:
1) *системные свойства;*
2) *этапы жизненного цикла;*
3) *ресурсы.*

Логическая схема *процесса научного исследования*:

<Системный мониторинг>↔<системное проектирование>↔
↔<системные модели (ДДС, КДС, ЛДС)> ↔
↔<идентификация (параметрическая и структурная: строение, функционирование, развитие)>.

Процесс научного исследования рассматривается в *структуре жизненного цикла* (ЖЦ) системы как объекта новой техники (ОНТ) [1-3]:

<системное исследование>↔<системное проектирование>↔
↔<изготовление>↔<эксплуатация>.

Объект исследования в процессе *системного проектирования* и развития должен приобретать основные свойства, которые вытекают из *концепции 4-х «И»*:

<интеллектуализация>↔<информатизация>↔<интеграция>↔<индивидуализация>.

Алгоритм системного подхода представляется в виде логической последовательности [4], [5]:

<цель>↔<задачи>↔<методы>↔<алгоритмы>↔<средства>.

Естественными объектами исследования выступают: *процессы*, *явления*, *события* или *системы* реального мира, математическими моделями которых являются *дифференцированные динамические системы* (*ДДС*) [5].

Поиск конкретных моделей объектов исследования выполняется методами идентификации (структурной и параметрической) [3].

Основная технологическая последовательность на основе методов системного проектирования есть [4], [5]: *<синтез>↔<анализ>↔<принятие решений>.*

Применение системного подхода

1 Задача и методика системных исследований. Верификация результатов

В основу методики обработки данных положены методы параметрической и структурной идентификации.

1.1 Этап структурной идентификации. В основе рассмотрения задачи структурной идентификации на базе методов *структурного синтеза* положено определение системы как *сети связанных элементов.* Тогда, соответственно, совокупность связей определяется как *структура* системы.

Известно несколько подходов к решению этого класса задач; общая постановка выплывает из формального определения системы в *эволюционном* развитии. Методы и их использование дают возможность рассматривать задачи структурного синтеза современных систем управления как теоретическую основу для последующего конструирования и реализации на компьютере.

1.2 Этап параметрической идентификации. В основе построения моделей современных объектов автоматизации чаще всего лежит использование понятия

«*функция»* (в самом широком понимании этого слова). Это базируется на определении функции как *закона*, по которому к значению аргумента ставится в соответствие значение функции. Применяют такие методы и алгоритмы, которые составляют основу информационной технологии построения моделей (поиску законов функционирования в самом широком понимании этого слова): метод избранных точек, метод регрессионного анализа (наименьших квадратов), алгоритм непрерывного определения статической характеристики объекта управления (фильтр Габора), метод экстраполяции (прогнозирование), метод группового учета аргументов (МГУА), для построения сложных моделей и систем и другие.

1.3 Этап группового учета аргументов (МГУА) [6], [7]. Свое применение МГУА нашел в разных областях знаний, включая структурную, параметрическую идентификацию и прогнозирование. МГУА базируется на принципах самоорганизации моделей. При самоорганизации моделей исследователь задает большое число моделей-претендентов и с помощью отдельных критериев определяет модель оптимальной сложности (МОС). Параметры модели-претендента рассчитываются с помощью хорошо известного метода наименьших квадратов на базе информации, которая получена в результате наблюдений над объектом исследования.

Идея метода самоорганизации заключается в проверке полученной модели на информации об объекте исследования, что не использовалась при определении ее параметров, то есть используется принцип внешнего дополнения.

1.4 Этап кластеризации [7]. Различают такие большие группы методов кластеризации: методы иерархической кластеризации, процедуры типа упорядочивания матрицы расстояний, процедуры эталонного типа, алгоритмы типа разрезания графа, комбинированные методы и другие. Кроме того, методы кластеризации можно классифицировать в зависимости от вида данных: кластеризации данных, значения которых заданы четко, и данных, значения которых заданные не четко, например, в виде функции принадлежности. Также методы кластеризации можно разделить в зависимости от вида кластерной структуры: кластеры не пересекаются; кластеры пересекаются; объекты образуют иерархическое дерево; отношение произвольной структуры.

2 Задача и методы диагностирования в задачах управления процессом лечения

Рассмотрим такие задачи диагностики: задачу идентификации параметров модели; задачу кластеризации данных; задачу прогнозирования процессов развития.

Задача диагностирования как задача идентификации. Объект управления находится под воздействием нескольких входных величин. Среди них различают: вектор регулирующих влияний $\bar{\mu} = (\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n)$, вектор возмущающих влияний $\bar{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n)$ и A_t – оператор функционирования объекта.

На выходе объекта есть вектор $\bar{\varphi} = (\varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_k)$, одна из компонент которого является показателем качества, который, в свою очередь, может быть функцией нескольких переменных.

Статистической характеристикой объекта является зависимость значения качества *(Ф)* от всех входных величин в установившемся режиме

$$\Phi = f(\bar{\mu}, \bar{\lambda}). \tag{1}$$

Уравнения динамики объекта записывают в виде

$$Z(p)\Phi = f(\bar{\mu}, \bar{\lambda}), \tag{2}$$

где $Z(p)$ – полином от $p \equiv \frac{d}{dt}$.

Нахождение $Z(p)$ является задачей определения $f(\bar{\mu}, \bar{\lambda})$ – задачей определения статических характеристик объекта и является *задачей идентификации*.

Процесс идентификации можно представить с помощью следующей блок-схемы (рис. 1):

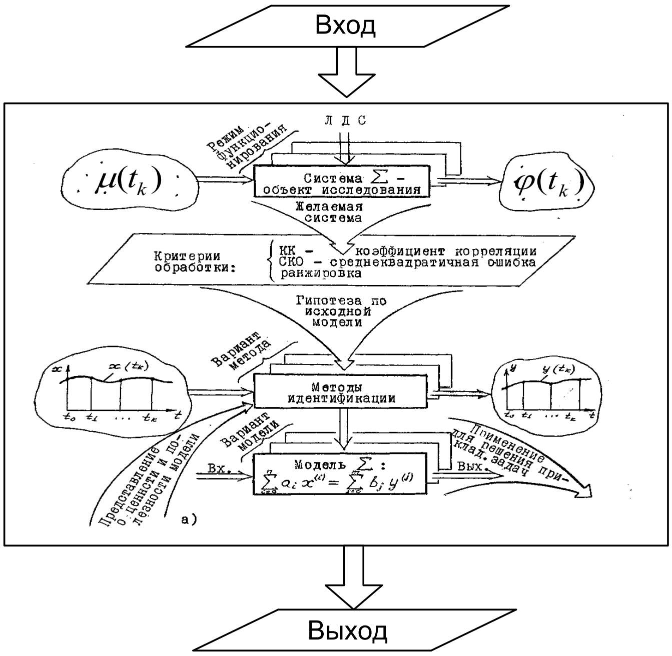


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма (процесса) идентификации

Идентификация параметров моделей сложных систем (IDENT (IDYNS)) основывается на *методе наименьших квадратов* и позволяет определять параметры моделей статических и динамических систем исходя из критерия минимума среднеквадратической погрешности.

Статическая система задается системой функций многих переменных, которые подаются в виде степенных разложений к 9-й степени включительно:

$$f_i(x) = f(x_1, x_2, ..., x_l), i = 1, ..., n. \tag{3}$$

В качестве примера статическую характеристику системы с одним возмущающим влиянием и одним регулирующим влиянием можно представить в виде кривой второго порядка:

$$\Phi = a_0 + a_1\lambda + a_2\mu + a_3\lambda^2 + a_4\mu^2 + a_5\lambda\mu \tag{4}$$

Динамическая система задается линейной системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{X} = AX + BU. \tag{5}$$

Процессы прогнозирования реализуются на базе прогнозных моделей, которые строятся по методу Пауэлла (PROGPOW):

$$X_{t+1} = a_0 + a_1 X_{t1} + a_2 X_{t-1} + ... + a_n X_{t-n}. \tag{6}$$

Работа из ППП возможна как в диалоговом автономном режиме, так и с использованием среды MATLAB [4].

Заметим, что если сумма квадратов отклонений экспериментальных значений от рассчитанных будет больше некоторого заранее заданного числа, то порядок уравнения необходимо повысить. Задача определения коэффициентов уравнения является задачей параметрической оптимизации. Если необходимо определить вид уравнения, то такая идентификация является структурной. Определение коэффициентов уравнения вычисляется с помощью метода наименьших квадратов, то есть путем минимизации функции

$$\Omega = \sum_{i=1}^{l} (\Phi_i^{теор} - \Phi_i^{експ})^2 , \tag{7}$$

где $\Phi_i^{теор}$ – рассчитанные значения функции Φ ,

$\Phi_i^{експ}$ – экспериментальные (априорные) значения, $i = \overline{i,l}$.

3 Задача кластеризации

Дана совокупность наблюдений (объектов, процессов, экспериментов), $X = (X_1, X_2, ..., X_m)$, m – количество наблюдений, $X_i = \{x_{ij}\}$, $j = \overline{1,n}$, n – количество характеристик модели. Все наблюдения относятся к определенной общей категории, в рамках которой необходимо выделить (если это возможно) подгруппы (кластеры).

Пусть K – количество кластеров, на которые необходимо разбить совокупность наблюдений ($K << m$), $C = (C_1, C_2, ..., C_K)$ – совокупность кластеров (множественные числа наблюдений, которые не пересекаются), $C_i = \{c_{ij}\}$, $j = \overline{1, p_i}$, p_i – количество наблюдений в i-м кластере $\sum_{i=1}^{K} p_i = m$.

Каждый кластер C_i имеет центр (ядро кластера) y_i, множество центров кластеров обозначим $Y = \{y_i\}$, $i = \overline{1,K}$. В пространстве наблюдений определим меру их близости (критерий) $q(X_i, X_j)$. В качестве критерия может выступать евклидово расстояние, корреляция и другие. Необходимо решить две основных задачи:

1) распределить совокупность наблюдений между кластерами, то есть $X = \bigcup_{i=1}^{K} C_i$,

2) определить центры кластеров таким образом, чтобы минимизировать функционал [7]:

$$\sum_{i=1}^{K} \sum_{j=1}^{p_i} q(c_{ij}, y_i) \to \min . \tag{8}$$

4 Метод экстраполяции (прогнозирование процессов лечения)

Содержание метода экстраполяции заключается в следующем. В первую очередь строится класс экстраполяционных функций $f(t, a_1, a_2, ..., a_m)$, который зависит от параметров $a_1, a_2, ..., a_m$. Выбор значений этих параметров, которые задают нужную экстраполяционную функцию, происходит из условия минимальности суммы квадратов разниц значений функций f и X при заданных значениях $t = t_1, t_2, ..., t_n$. Указанная сумма имеет вид

$$S = [f(t_1, a_1, a_2, ... a_m) - X(t_1)]^2 + [f(t_2, a_1, a_2, ... a_m) - X(t_2)]^2 + ... + [f(t_n, a_1, a_2, ... a_m) - X(t_n)]^2 \tag{9}$$

Поиск значений параметров $a_1, a_2, ..., a_m$, которые превращают величину S в минимум, происходит любым из способов нахождения экстремумов. Для ряда простых функций $f(t, a_1, a_2, ..., a_m)$ необходимый минимум может быть найден классическим путем в результате решения системы уравнений

$$\frac{\partial S}{\partial a_i} = 0, \quad (i = 1,2,...,m). \tag{10}$$

Метод наименьших квадратов (МНК) удобен тем, что позволяет применять аналитические приемы нахождения минимума.

Процессы прогнозирования реализуются на базе прогнозных моделей, которые строятся по методу Пауэлла [8], [9]:

$$X_{t+1} = a_0 + a_1 X_{t1} + a_2 X_{t-1} + ... + a_n X_{t-n}. \tag{11}$$

5 Прогноз содержания липидов в сыворотке крови

В рамках данной постановки задачи и формулировки цели исследования заключается в построении прогноза содержания липидов в сыворотке крови на основе следующих данных.

Выходные данные. Выходными данными для построения прогноза является общее количество липидов в сыворотке крови, содержание холестерина, фосфолипидов, β-липопротеидов, обмен которых изучался в динамике экспериментального инфаркта миокарда на 1, 2, 3, 5, 10, 20 сутки (табл. 1).

Таблица 1 – Начальные данные

Сутки	Общее кол-во, *мг %*	Холестерин, *мг %*	Фосфолипиды, *мг %*	β- Липопротеиди, *мг %*
норма	522	120	220	160,5
1	480	170	190	190
2	480	138	170	200
3	440	92	150,3	220
5	448	78,6	180	240
10	465	83	180	260
15	466	96	182	231
20	467	108	185	212

Используя программную систему Progpow и выражение (11), найдем результаты прогнозирования на 25, 30, 35, 40 сутки.

Данные, полученные в результате эксперимента, представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента

Сутки	Общее кол-во, *мг %*	Холестерин, *мг %*	Фосфолипиды, *мг %*	β- Липопротеиди, *мг %*
25	479.22	99.91	182.21	193.30
30	486.57	105.02	182.78	178.62
35	493.70	109.34	183.30	166.50
40	500.62	112.99	183.75	156.50
45	507.33	116.06	184.15	148.25

Построим полученные прогнозы в графических плоскостях (рис. 2):

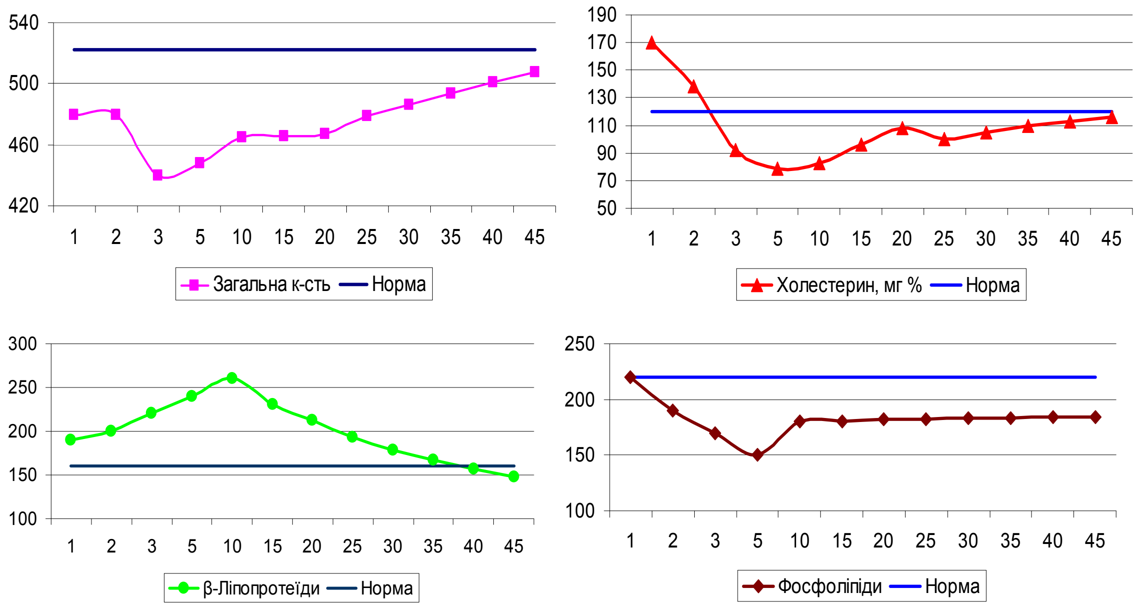


Рисунок 2 – Графики прогнозирования содержания липидов в сыворотке крови

Заключение

Таким образом, изложена системная методика последовательного анализа развития заболевания сердечно-сосудистой системы на примере данных липидного обмена. Основу математической обработки составляют экспериментальные данные, которые характеризуют содержание липидов в крови на разных стадиях инфаркта миокарда. В результате математического эксперимента построены прогнозные модели составных липидов крови. Следует отметить, что программа Progpow хорошо работает с данными, которые описываются линейной зависимостью, а в нашем случае такой зависимости не наблюдалось.

Представленные прогнозы свидетельствуют о возможности использования аналитических платформ, которые реализуют задачи диагностики в задачах медицины.

Литература

1. Системні дослідження в науці та техніці. Частина I. Методологія наукових досліджень. – Черкаси : ЧДТУ, 2006. – 40 с.
2. Системні дослідження в науці та техніці. Частина II. Технологія наукових досліджень. – Черкаси : ЧДТУ, 2006. – 77 с.
3. Системні дослідження в науці та техніці. Частина III. Гносеологія наукових досліджень. – Черкаси : ЧДТУ, 2006. – 36 с.
4. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об’єктів : підручник : у 2 кн. – Кн. 1. Основи САПР та системного проектування складних об’єктів / за ред. В.І. Бикова. – К. : Либідь, 2000. – 272 с.
5. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об’єктів : навч. посібник : у 2 кн. – Кн. 2. Основи системного підходу та системного аналізу об’єктів нової техніки / за ред. Ю.Г. Леги. – К. : Либідь, 2004. – 288 с.
6. Тимченко А.А. Розв’язок задач ідентифікації моделювання та прогнозування в наукових дослідженнях / А.А. Тимченко, Д.П. Ночевнов, А.А. Данилюк // Сучасні інформаційні технології : матеріали IV міжнародної НПК «Динаміка наукових досліджень 2005». – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – С. 8-10.

7. Тимченко А.А. Системний підхід до наукових досліджень інформаційних технологій та складних систем в галузі медицини / А.А. Тимченко, С.О. Говорухін, А.А. Данилюк // Штучний інтелект. – 2008. – № 3. – С. 113-120.
8. Системний моніторинг ліпідного обміну при лікуванні інфаркту міокарду / С.В. Журба, А.А. Тимченко, А.А. Данилюк [та ін.] // Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях. – Черкаси : ЧДТУ, 2008. – С. 244-245.
9. Тимченко А.А. Идентификация критернальной функции на базе самоорганнзации моделей с использованием символьной математики в среде MATLAB / А.А. Тимченко, В.Е. Снитюк // Международная конференция «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». – Москва, 2004. – С 706-711.

Literatura

1. Systemni doslidzhennya v nauci ta texnici. Chastyna I. Metodolohiya naukovyx doslidzhen'. Cherkasy : ChDTU. 2006. 40 s.
2. Systemni doslidzhennya v nauci ta texnici. Chastyna II. Texnolohiya naukovyx doslidzhen'. Cherkasy : ChDTU. 2006. 77 s.
3. Systemni doslidzhennya v nauci ta texnici. Chastyna III. Hnoseolohiya naukovyx doslidzhen'. Cherkasy : ChDTU. 2006. 36 s.
4. Tymchenko A.A. Osnovy systemnoho proektuvannya ta systemnoho analizu skladnyx ob'yektiv: Pidruchnyk : U 2 kn. Kn. 1. Osnovy SAPR ta systemnoho proektuvannya skladnyx ob'yektiv. K. : Lybid'. 2000. 272 s.
5. Tymchenko A.A. Osnovy systemnoho proektuvannya ta systemnoho analizu skladnyx ob'yektiv: Navch. posibnyk: U 2 kn. Kn. 2. Osnovy systemnoho pidxodu ta systemnoho analizu ob'yektiv novoyi texniky. K. : Lybid'. 2004. 288 s.
6. Tymchenko A.A. Materialy IV mizhnarodnoyi NPK "Dynamika naukovyx doslidzhen' 2005". Suchasni informacijni texnolohiyi. Dnipropetrovs'k : Nauka i osvita. 2005. S. 8-10.
7. Tymchenko A.A. Shtuchnyj intelekt. № 3. 2008. S. 113-120.
8. Zhurba S.V. Systemnyj monitorynh lipidnoho obminu pry likuvannya infarktu miokardu. Cherkasy: ChDTU. Komp'yuterne modelyuvannya v ximiyi ta texnolohiyax. 2008. S. 244-245.
9. Timchenko A.A. Mezhdunarodnaja konferencija "Proektirovanija inzhenernyh i nauchnyh prilozhenij v srede MATLAV". Moskva. 2004. S. 706-711.

С.В. Журба, А.А. Тимченко, В.В. Скоробрещук, А.М. Гаврилей
Системний підхід до діагностування в задачах медицини
У статті розглянутий процес наукового дослідження з точки зору системного підходу як основного інструмента системного аналізу складних об'єктів і систем в галузі медицини. Розглянуті задачі та методи діагностування в задачах управління. Проведена методика системних досліджень та верифікації результатів. У результаті математичного експерименту побудовані прогнозні моделі складових ліпідів крові.

S.V. Zhurba, A.A. Tymchenko, V.V. Skorobreshchuk, A.N. Gavriley
System Approach to Diagnosing Problems in Medicine
In the article the process of scientific research in terms of system approach as the basic tool of system analysis of complex objects and systems in medical science. The problems and methods in diagnosing control problems are considered. The method of systematic research and verification of results are conducted. As a result of mathematical experiment predictive models of lipid components of blood have been built.

Статья поступила в редакцию 16.07.2011.